



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO
Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica

La semiotica degli incendi

a cura del
NUCLEO INVESTIGATIVO ANTINCENDI
Capannelle – ROMA



L'investigazione sulle cause d'incendio/esplosione è un'attività che richiede particolari conoscenze multidisciplinari, quali quelle relative al “fenomeno incendio” o quelle sul comportamento al fuoco dei materiali e delle strutture.

L'investigazione antincendio è, inoltre, resa complessa non solo dalla natura distruttiva dell'evento su cui si indaga, che vede gli investigatori operare su scenari caratterizzati da livelli di danneggiamento delle strutture e dei materiali tali da non consentire una ricostruzione dello stato dei luoghi, ma anche della carenza di strumenti uniformi per la ricerca delle cause di incendi e di esplosione

In considerazione delle numerose richieste ricevute da parte delle strutture territoriali del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco e con le finalità di fornire un ausilio al personale chiamato a svolgere l'attività investigativa, si è ritenuto di approfondire le problematiche della ricerca delle cause di incendio e di esplosione predisponendo e pubblicando alcuni documenti per l'investigazione di specifici scenari incidentali (incendio di impianti fotovoltaici, incendi di impianti di riscaldamento, ecc.)

In questa seconda pubblicazione gli autori, Vigili del Fuoco appartenenti a strutture centrali del Corpo, sulla base della propria esperienza operativa, maturata anche nell'espletamento dell'attività di soccorso, hanno predisposto un documento teso a rintracciare i “segni” lasciati da un incendio, prediligendo un approccio sintetico e il più possibile orientato a fornire soluzioni pratiche. “Semiotica” è il termine tecnico che è stato utilizzato in questo particolare ambito.

La pubblicazione è stata curata dall'ing. Michele Mazzaro, Dirigente del Nucleo Investigativo Antincendi, che si è avvalso del supporto e dell'esperienza investigativa del personale del Nucleo, nonché della letteratura scientifica sull'argomento.

Ing. Cosimo PULITO

Direttore Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica

PREMESSA	2
DINAMICA DEGLI INCENDI NEGLI AMBIENTI CONFINATI	2
I SEGNI DELL'INCENDIO	7
SEGNI A CONO ROVESCIATO (INVERTED CONE PATTERNS)	9
SEGNI A COLONNA	12
SEGNI A "V"	14
SEGNI AD "U"	19
INTERPRETAZIONE DEI SEGNI CHE L'INCENDIO LASCIA SUI MATERIALI	23
CARBONIZZAZIONE DEL LEGNO	23
SCREPOLATURE A "PELLE DI COCCODRILLO"	25
MATERIALI SINTETICI	26
VETRI	28
LIQUIDI INFIAMMABILI	32
PAVIMENTO IN LINOLEUM	34
PAVIMENTO IN CEMENTO	34
PAVIMENTO IN PARQUET	35
PIASTRELLE IN VINILE	37
MACCHIE DI SCORRIMENTO (RUNDOWN BURN PATTERNS)	40
LINEE DI DEMARCAZIONE	40
ORIZZONTI DI FUMO	41
ORIZZONTI DI CALORE	42
COMBUSTIONE PULITA (CLEAN BURN)	43
SEGNI DI PROTEZIONE	44
INCENDI CONTROLLATI DALLA VENTILAZIONE	46
INDIVIDUAZIONE DEL PUNTO D'ORIGINE DELL'INCENDIO E DIREZIONE DI PROPAGAZIONE DEL FUOCO	51
PENETRAZIONI ATTRAVERSO IL PAVIMENTO	53
SERRAMENTI E DISPOSITIVI DI CHIUSURA	54
CONCLUSIONI	56
BIBLIOGRAFIA	57



LA SEMIOTICA DEGLI INCENDI

INTERPRETAZIONE DEI SEGNI DELL'INCENDIO VOLTA ALLA COMPrensIONE DELLA ZONA D'ORIGINE, DELLA CAUSA E DINAMICA DELL'EVENTO

PREMESSA

Se si considera la natura distruttiva dell'evento incendio si comprende come l'investigazione sulle cause d'incendio sia un'attività estremamente complessa che, spesso, vede gli investigatori operare nell'ambito di scenari caratterizzati da livelli di danneggiamento delle strutture e dei materiali tali da non consentire una ricostruzione, se non parziale, dello stato dei luoghi *ex ante* l'incendio.

Pertanto, maggiore è la capacità degli investigatori di raccogliere informazioni sullo scenario oggetto d'indagine, interpretando ad esempio i segni lasciati dall'incendio, e più alta è la probabilità che l'analisi dell'evento porti all'individuazione della causa, attraverso una ricostruzione oggettiva dell'evento.

A tal fine, si è ritenuto opportuno sviluppare un lavoro di ricerca sull'interpretazione dei segni lasciati dall'incendio mettendo a confronto quanto in questo specifico ambito esiste nella letteratura tecnica di settore con le esperienze maturate direttamente dal personale del Nucleo Investigativo Antincendi.

DINAMICA DEGLI INCENDI NEGLI AMBIENTI CONFINATI

Un incendio si sviluppa attraverso una successione di fasi, partendo da una fase iniziale dove è richiesta una sorgente d'ignizione affinché sia avviata una combustione. Il materiale combustibile inizia a bruciare e i flussi convettivi che si determinano trasportano i prodotti della combustione nelle zone alte dell'ambiente mentre l'ossigeno viene

richiamato dal basso per sostenere la combustione. La diffusione a soffitto dello strato di gas caldi, irradia calore nella stanza (Figura 1.2).

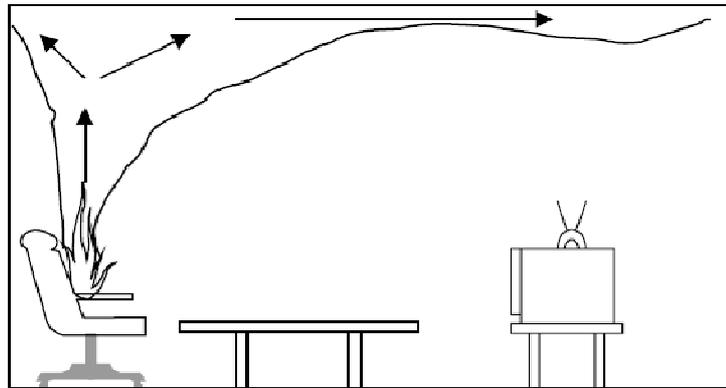


Figure 1.2 Initiation and free burning



Incendio sperimentale presso il laboratorio del NIA – fase d’ignizione

A questo punto segue una fase di crescita dell’incendio (growth period), quando il calore che si diffonde per convezione e irraggiamento verso l’alto e verso l’esterno del materiale combustibile acceso per primo consente di raggiungere la temperatura d’ignizione dei materiali combustibili vicini. Il fuoco cresce progressivamente diffondendosi a materiali combustibili adiacenti. Inizia a formarsi, a soffitto, uno strato ricco di materiale combustibile composto da gas tossici, prodotti di pirolisi parzialmente combusti, fuliggine e fumo la cui

temperatura aumenta costantemente. La parte inferiore della stanza è ancora ricca di ossigeno e la velocità di combustione all'interno della stanza continua ad aumentare con conseguente rilascio di calore. Quando lo strato dei fumi si abbassa ovvero si entra in contatto diretto con la fiamma i componenti presenti nella stanza raggiungono la temperatura di accensione e cominciano a prendere fuoco. Questa fase è chiamata "flame-over" e comporta la formazione di un fronte di fiamma di "rotolamento" all'interno dello strato dei gas caldi (Figura 1.3).

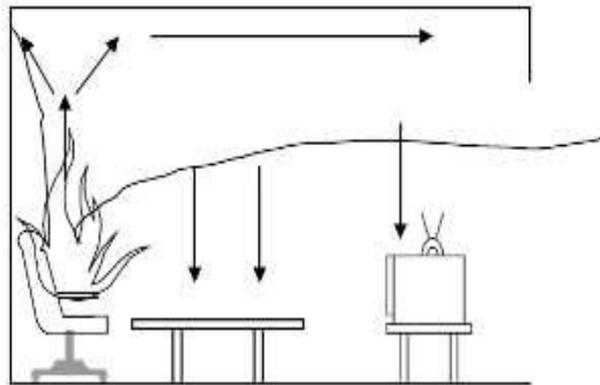


Figure 1.3 Growth period



Incendio sperimentale presso il laboratorio del NIA – fase di crescita

Ciò comporta un aumento progressivo della temperatura e quando lo strato dei gas caldi a soffitto raggiunge approssimativamente una temperatura di 600 °C, si genera un flusso termico a pavimento intorno a 20 kW/m². In una stanza normalmente arredata questo flusso termico è sufficiente a far raggiungere ai materiali cellullosici (tappeti, mobili, etc.) la

loro temperatura di accensione, in modo da innescarli contemporaneamente facendo raggiungere all'incendio la fase del "flashover". In questa fase, la sovrappressione che si determina all'interno del locale, riduce l'ingresso di aria fresca, e quindi l'apporto di ossigeno per la combustione e l'incendio è controllato dalla ventilazione (Figura 1.4).

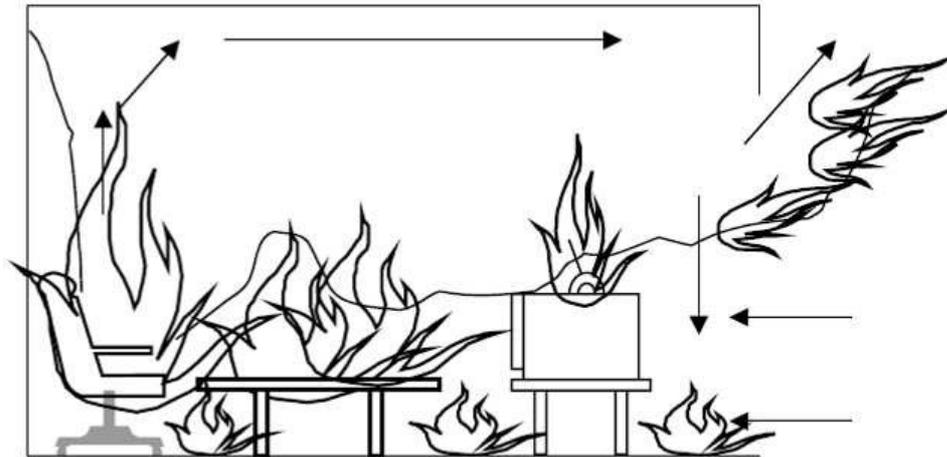


Figure 1.4 Flashover



Incendio sperimentale presso il laboratorio del NIA – fase d'incendio generalizzato

L'incendio è un bilanciamento tra combustibile, calore e aria. Se la ventilazione è limitata, l'incendio progredirà più lentamente, con un minor tasso di crescita della temperatura e una maggiore produzione di fumo. Se l'apporto d'ossigeno è limitato, l'accensione dello strato di fumo richiederà più tempo o potrà avvenire all'esterno del compartimento. Se il combustibile non brucia abbastanza velocemente o non produce abbastanza calore, la fase di flashover potrebbe non essere raggiunta. Una volta raggiunto il post-flashover, o

stato stazionario, tutti i combustibili coinvolti continueranno a bruciare fino a quando l'ossigeno è disponibile o fino a quando gli stessi combustibili vengono consumati (Figura 1.5).

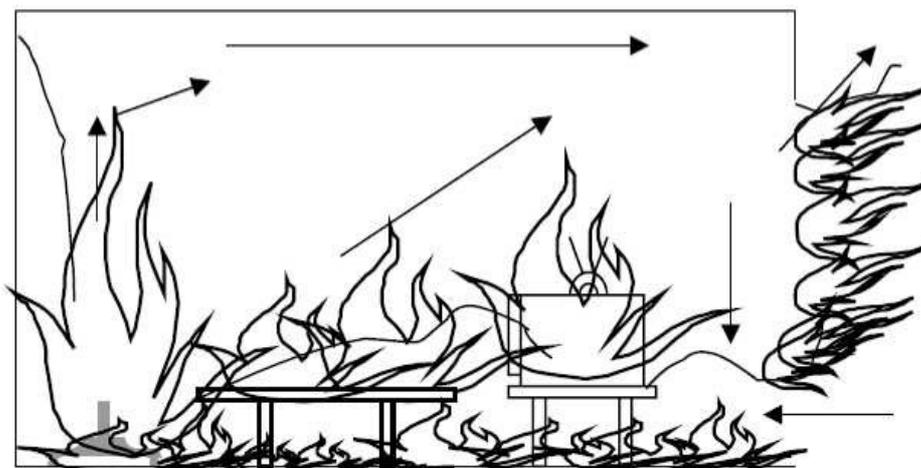


Figure 1.5 Post-flashover

Quando il combustibile inizia a consumarsi, la combustione con fiamma si riduce gradualmente a fronte di una combustione “*glowing*” (ovvero usualmente con incandescenza) che diventa prevalente. Questo può accadere anche nel caso in cui il livello di ossigeno nell’ambiente si riduce a percentuali inferiori al 16% in volume. In questo caso, il combustibile può restare in uno stato di temperatura tale che una re-introduzione di ossigeno nell’ambiente può causare una ripresa della combustione con velocità tipiche di un’esplosione. Questo scenario viene qualche volta anche chiamato “*backdraft*”.

Generalmente, secondo quanto indicato anche dalla norma NFPA 555 “*Guide on methods for evaluating potential for room flashover*”, in un locale incendiato, la minima concentrazione volumetrica di ossigeno che è ancora in grado di sostenere un processo di combustione con fiamma è variabile dall’8% al 12%; ne consegue che l’incendio con fiamma potrà procedere fino a quando la quantità di ossigeno nel locale si è approssimativamente ridotta a quasi la metà di quella inizialmente disponibile. Al di sotto delle concentrazioni volumetriche di O₂ del 8-12% potrà al massimo continuare un processo di combustione in assenza di fiamma ovvero una combustione di tipo covante “*smoldering*” ovvero lenta, senza fiamma e senza emissione di luce visibile ma usualmente con incandescenza e fumo. La combustione di tipo covante può, infatti, continuare anche se la concentrazione di ossigeno scende al di sotto del 5% in volume per effetto delle elevate temperature che si registrano sulle superfici dei materiali combustibili.

Se l’incendio viene spento (o si auto-estingue) prima del flashover, la determinazione del punto di origine è relativamente semplice. Al contrario, in un incendio

dove si è verificato il flashover tale determinazione è molto più complessa. Infatti in un incendio in fase di post-flashover, tutto il materiale combustibile coinvolto è già incendiato.



Incendio sperimentale presso il laboratorio del NIA – fase di decadimento dell'incendio

I SEGNI DELL'INCENDIO

I segni lasciati dal fuoco possono essere definiti come gli effetti visibili o misurabili che rimangono dopo un incendio. La maggior parte dei segni vengono registrati su superfici bidimensionali nel luogo in cui dette superfici intersecano il fuoco tridimensionale. I segni possono essere causati da radiazione termica (irraggiamento), per contatto con lo strato di gas caldi, per contatto con oggetti caldi o per il contatto con il pennacchio di fuoco (contatto diretto delle fiamme).

In questo paragrafo verranno fornite delle nozioni riguardo ai segni più comuni che un incendio lascia sulle strutture e sui materiali, al fine di poter avere nell'ambito di una indagine quegli strumenti di lettura utili alla loro interpretazione. Tuttavia, va chiarito da subito che, attesa l'estrema complessità del fenomeno che si osserva, che spesso si articola attraverso una successione di fasi che a loro volta dipendono da numerosi fattori, l'interpretazione "univoca" dei segni di danno termico lasciati dall'incendio è tutt'altro che agevole. In sostanza, risulta poco agevole pervenire, attraverso la lettura dei danni, alla determinazione dell'area d'origine dell'incendio e a una spiegazione della possibile dinamica. A tal proposito si richiama parte del contenuto del capitolo "The Mythology of Arson Investigation", tratto dalla 2^a edizione del testo "Scientific Protocols for Fire Investigation" di John J. Lentini (membro del Comitato Tecnico "National Fire Protection

Association e Presidente del Comitato ASTM American Society for Testing Materials E30 sulle scienze forensi per l'analisi dei residui d'incendio) che nelle conclusioni riporta:

“ (...) *Ciò che sorprende è che, a distanza di tre secoli dall'esame del fuoco da parte della comunità scientifica, altri “miti” sono stati aggiunti piuttosto che dissipati quelli del passato. Il gran numero di idee sbagliate e la loro pubblicazione diffusa in dotti trattati e in trattati non così dotti, indica che un'indagine sull'incendio, è una professione ancora molto lontana dall'essere considerata tale*”.

I segni più frequenti sono:

- segni a V
- segni a colonna
- segni a clessidra (hourglass patterns)
- segni a U
- linee di demarcazione (orizzonti di fumo o di calore)
- combustione pulita (clean burn)
- segni di protezione
- segno a cono rovesciato (inverted cone pattern), su muri od oggetti (spesso provocati da liquidi infiammabili)
- segni tipici prodotti da liquidi infiammabili (ignitable liquid pour pattern)

Sequenza con la quale tendono a svilupparsi i segni:

Incendi senza flashover:

- segno a cono rovesciato (inverted cone), su muri od oggetti;
- segno a colonna;
- segno a clessidra (hourglass patterns);
- segno a V;
- segno a U (si sviluppa sulla parte alta di una parete, quando la base del pennacchio non è all'intersezione delle stessa, come nel caso del segno a V, ma spostata più lontano verso il centro della stanza).

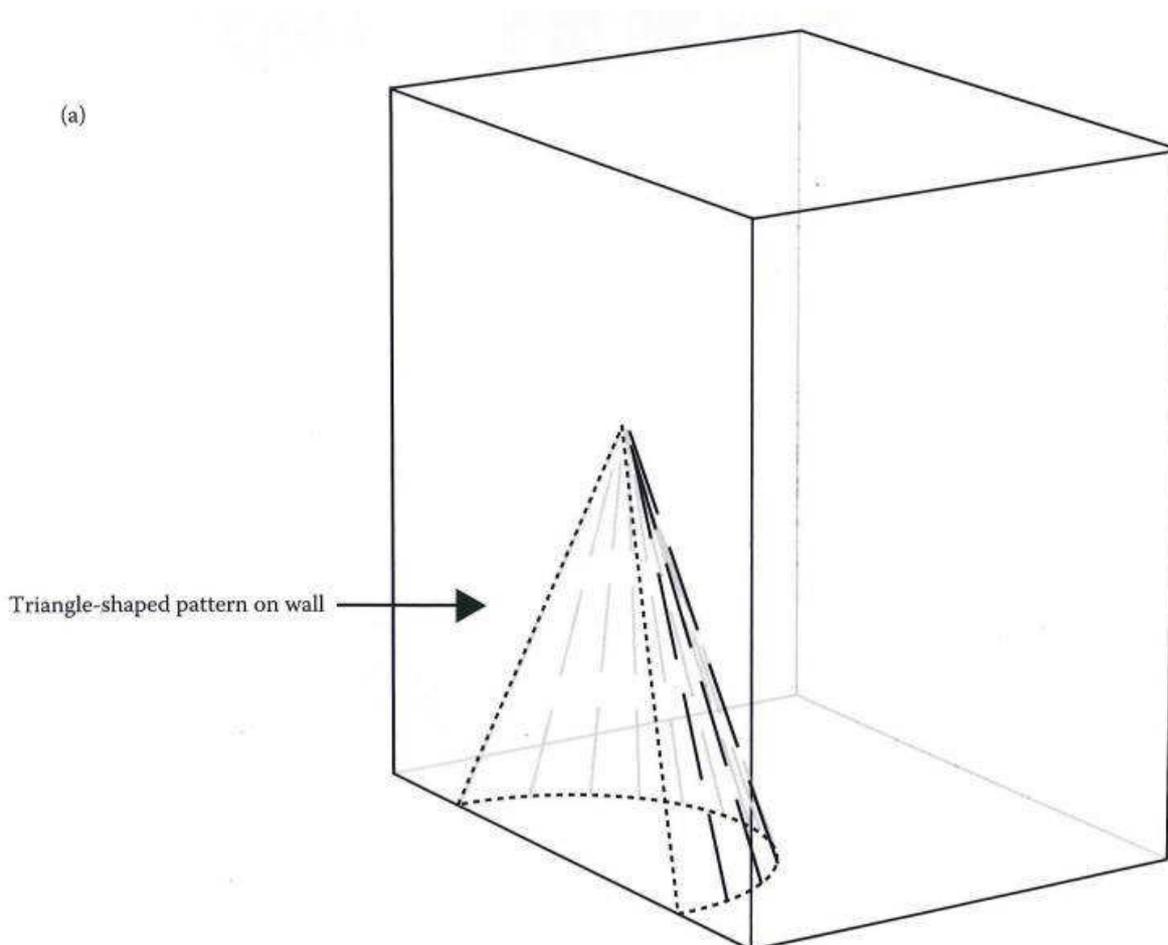
Incendi post-flashover:

- Negli incendi in cui è avvenuto il flashover difficilmente la forma dei segni è prevedibile. Si possono formare grandi segni a V che spesso confondono gli investigatori i quali tendono ad interpretarli come punti di origine dell'incendio.

SEGNI A CONO ROVESCIATO (INVERTED CONE PATTERNS)

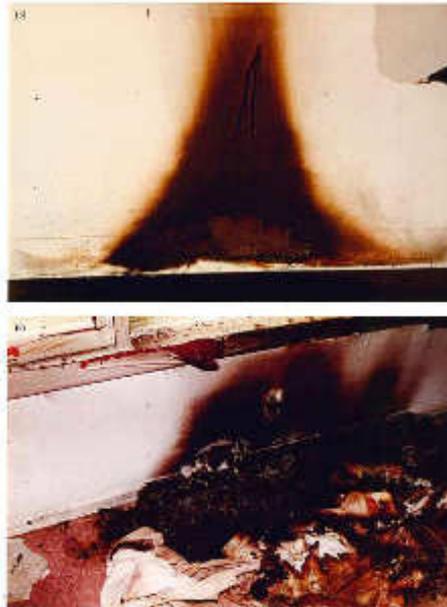
I segni prodotti prima del flashover includono triangoli, colonne e coni: l'NFPA 921 "Guide for Fire and Explosion Investigations", li chiama "segni a cono troncato" (quando parliamo di "cono" dobbiamo pensare ad un cono tridimensionale che è la rappresentazione dell'energia termica creata da un incendio, che produce dei segni bidimensionali sugli oggetti e le pareti che interseca).

Se si considera la fiamma dell'incendio nella sua fase incipiente (cioè quando è all'inizio) si può visualizzare un cono rovesciato, che riflette generalmente la forma della fiamma. Se questo cono è intersecato o troncato da un muro, il fuoco produrrà un segno a forma di triangolo sul muro stesso, come mostra l'immagine sotto:



Segno a cono rovesciato (Inverted cone pattern)

Questo tipo di segno (inverted cone pattern) è frequentemente (ma non sempre) causato da liquidi infiammabili che bruciano sul pavimento e, di solito, lo troviamo quando l'incendio non si sviluppa ulteriormente. Viene chiamato anche segno a V invertita e, più raramente, segno ad A.

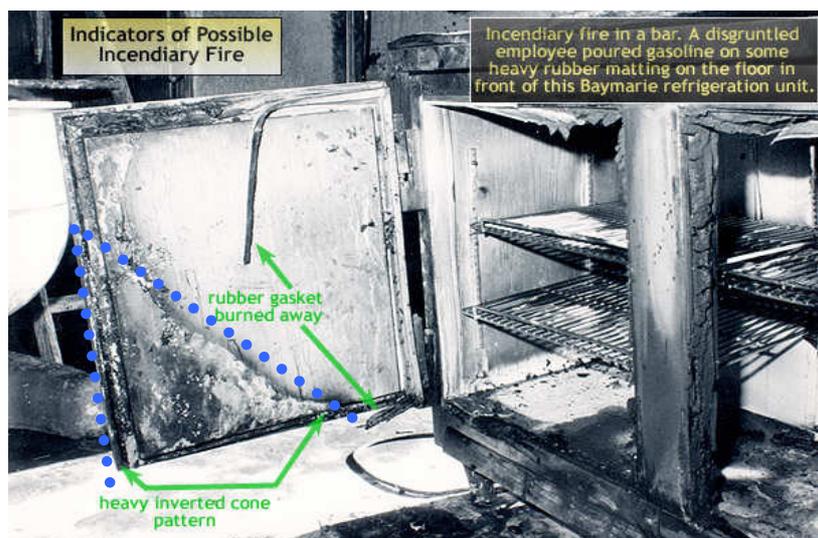


Segno a cono rovesciato: notiamo un triangolo sul muro e un segno circolare sul pavimento

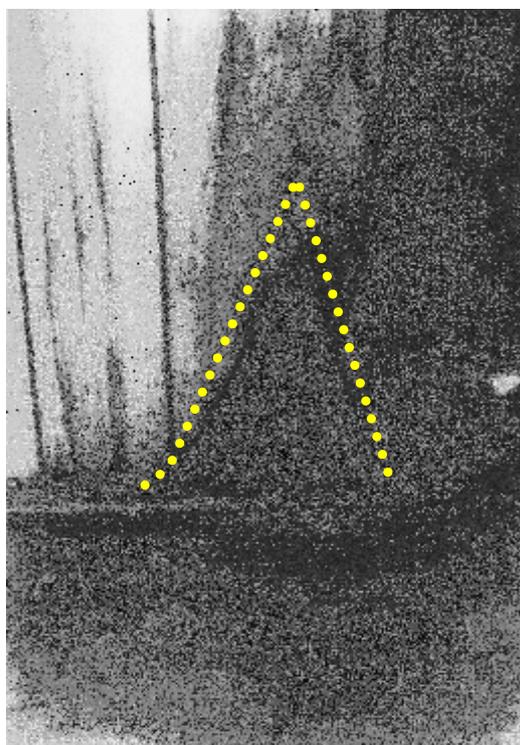
L'immagine sotto mostra dei segni a cono rovesciato provocati dall'uso di liquidi infiammabili bruciati sul pavimento.



Quest'altra mostra invece un segno a cono rovesciato, su uno sportello di un'unità refrigeratrice di un bar. Un dipendente aveva versato benzina su alcuni tappeti in gomma pesante posti sul pavimento di fronte all'unità.



I segni a cono rovesciato sono il risultato di incendi non completamente sviluppati, ma non indicano necessariamente la presenza di liquidi infiammabili. Essi possono essere il risultato di un coinvolgimento successivo di un combustibile secondario che brucia, come ad esempio tende o carta. L'immagine riportata sotto, estratta da NFPA 921, mostra il caso di un segno a cono rovesciato che non è stato provocato da vapori di liquidi infiammabili che bruciavano: in questo caso il segno è stato lasciato dalla fiamma generata da una dispersione di gas naturale sotto il pavimento.



Le due immagini sotto mostrano invece un segno a cono rovesciato prodotto in un incendio di prova, bruciando della carta posta a 12 cm di distanza dalla parete.



(a)



(b)

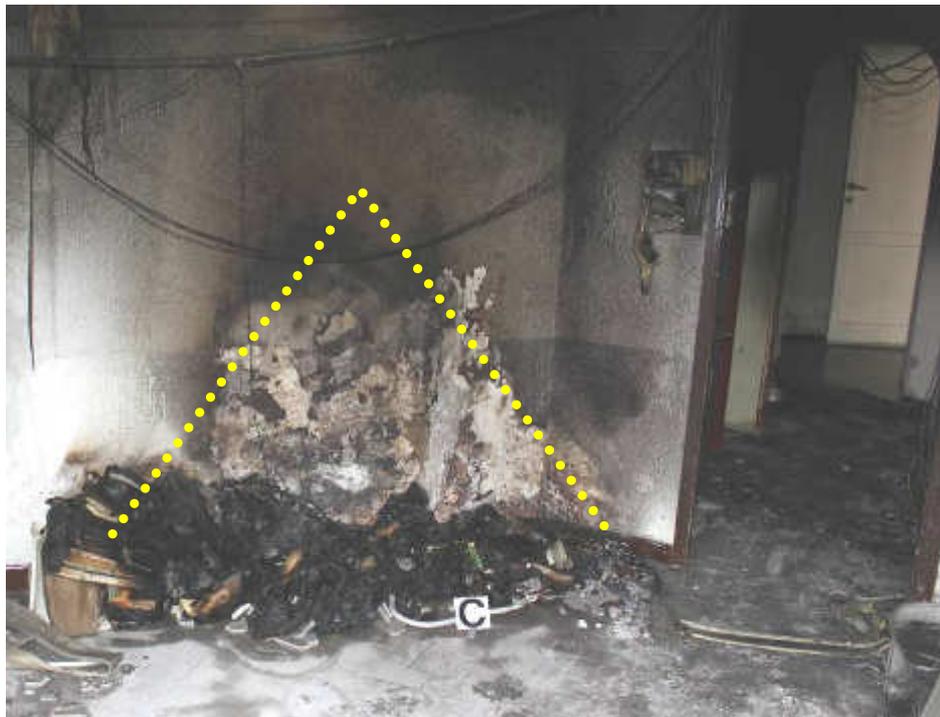
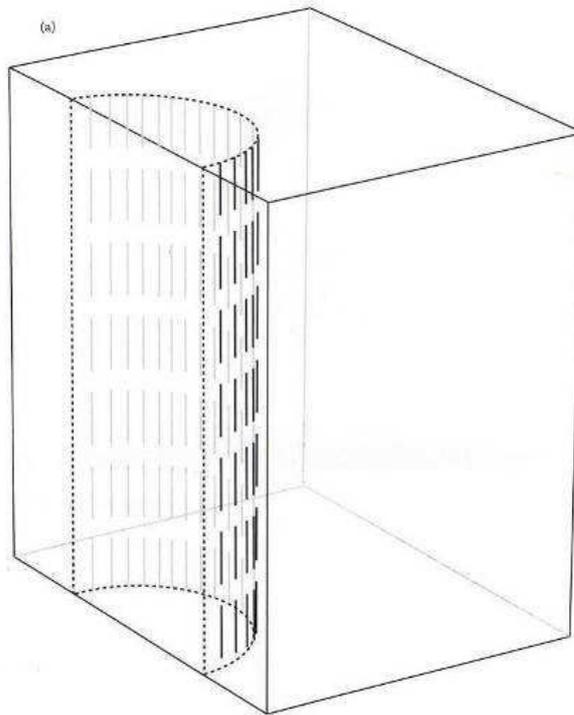


Foto NIA

SEGNII A COLONNA

Man mano che il fuoco progredisce, i prodotti della combustione vengono inviati verso l'alto in un "pennacchio" che assume la forma di una colonna. L'intersezione di una parete con la colonna dei fumi produce un segno verticale con lati approssimativamente paralleli.



Poiché la forma del segno cambia quando il pennacchio interagisce con il soffitto, i segni a colonna hanno vita breve e non sono frequenti. L'incendio che ha causato il segno che vediamo nell'immagine sotto è stato spento prima che avesse avuto il tempo per interagire con il soffitto.



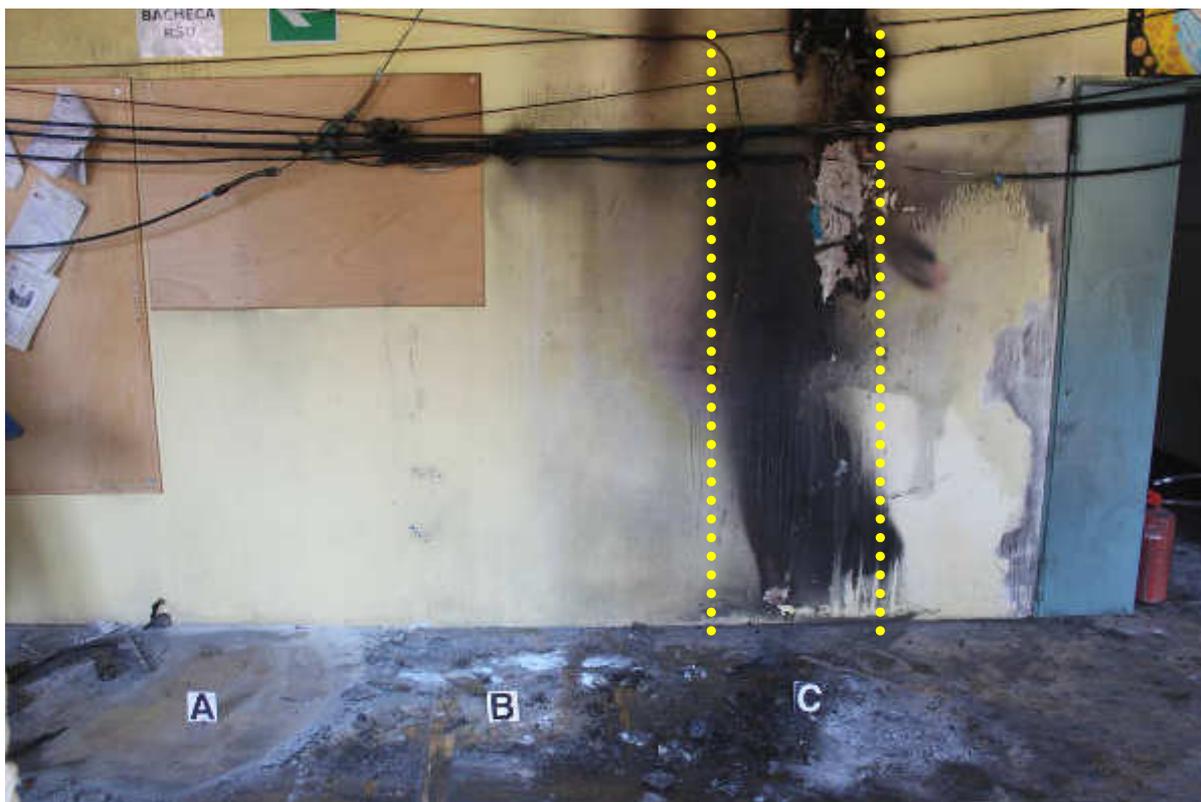


Foto NIA – Segni a colonna rinvenuti in un ambiente nel quale si era registrato un principio d'incendio

SEGNI A CLESSIDRA (HOURLASS PATTERN)

Si tratta di un segno non molto frequente, che però si può trovare quando viene versato del liquido infiammabile accanto ad una parete verticale.

In genere questi segni si sviluppano nel breve lasso di tempo che intercorre tra il passaggio da un segno a colonna ad un segno a V.

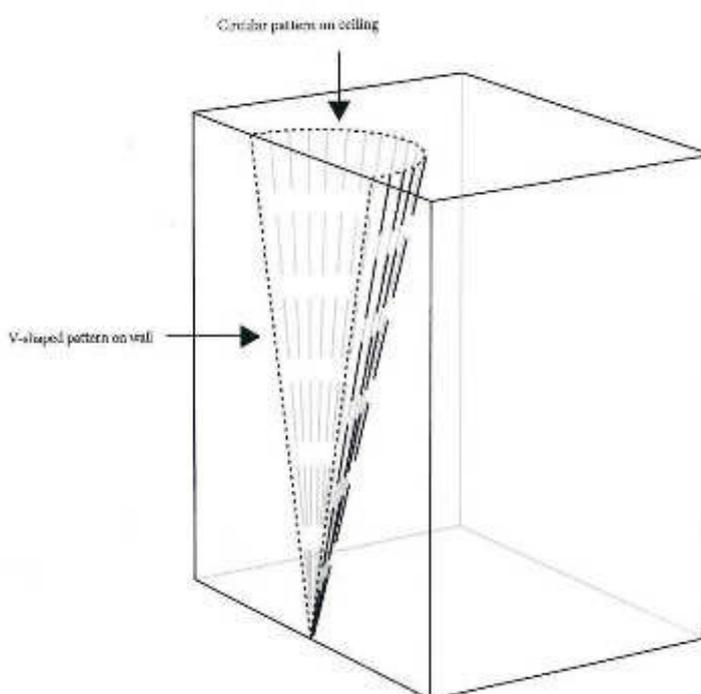


SEGNI A “V”

I segni a colonna e a clessidra, pur prodotti da incendi più sviluppati di quelli che producono segni a cono rovesciato, di solito, se il fuoco non si spegne, evolvono ulteriormente. La fiamma sul divano dell'immagine che abbiamo visto precedentemente è

stata estinta con un tubo da giardino, pochi minuti dopo l'accensione. Se l'incendio non fosse stato spento, il "pennacchio" dei fumi avrebbe assunto la forma di un cono, a causa dell'interazione del soffitto sulla fiamma. Questo cono produce un segno a forma di V se la base del "pennacchio" è molto vicina o a contatto con la parete.

Normalmente i lati del pennacchio dei fumi sono angolati rispetto alla verticale di circa 15°. Molti autori ritengono che, più rapida è la combustione, più lentamente il fuoco si diffonderà anche lateralmente e dunque l'angolo del pennacchio dei fumi sarà minore (più stretto). Viceversa più l'incendio è lento, più l'angolo del pennacchio dei fumi si inclina rispetto alla verticale. In realtà, non sempre è possibile schematizzare così semplicemente le cose, poiché importanti effetti sulla forma del modello (segni dell'incendio) dipendono dalle condizioni al contorno e tra queste, in particolare, la ventilazione in prossimità della parete. A tal riguardo è possibile anche leggere nella 4^a edizione del Kirk's Fire Investigation, che l'angolo e la larghezza della "V" non dipendono dalla rapidità d'ignizione del fuoco. Questo stesso concetto è ribadito anche nella NFPA 921.

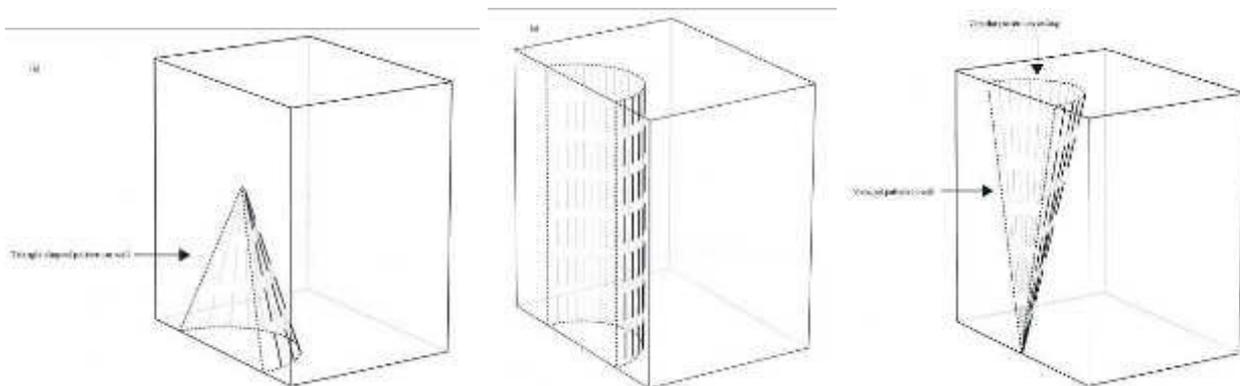


Segno di bruciatura a forma di V prodotto dall'intersezione della fiamma con la parete e segno semicircolare prodotto sul soffitto

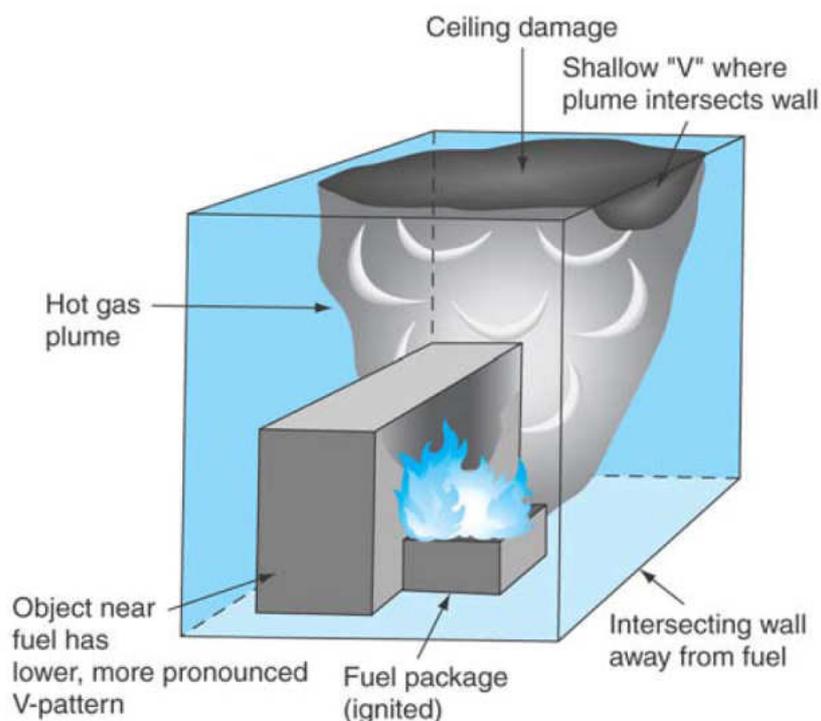
Osserviamo di nuovo la sequenza con la quale il pennacchio, cambia forma, modificando i segni che produce:

- partiamo con un cono rovesciato, che produce un segno triangolare sulla parete (inverted cone pattern);

- se il fuoco ha modo di svilupparsi il pennacchio assume la forma di una colonna, che produce un segno con lati verticali e approssimativamente paralleli;
- se l'incendio si sviluppa ulteriormente, il pennacchio assumerà una forma a cono, per l'interazione del soffitto sulla fiamma: ecco comparire il segno a V.



La figura sotto riportata mostra due segni a V prodotti da un incendio: uno più piccolo è sull'oggetto che si trova accanto al materiale che brucia, uno molto più grande si forma sulla parete per l'effetto dei fumi caldi prodotti dalla fiamma. Un grande segno circolare si produce sul soffitto.



La foto sotto mostra invece un tipico segno a V nel punto di origine di un incendio, dove inizialmente era bruciato un cestino.



Un segno a V sul muro può indicare (ma non sempre) il punto di origine dell'incendio (cfr. paragrafo "Incendi controllati dalla ventilazione"). Tuttavia bisogna sempre tenere ben presente che non è possibile a priori definire una regola generale che valga sempre e in ogni caso.

La complessità della lettura dei segni lasciati dall'incendio è legata all'evoluzione dinamica dell'evento nel corso della quale, come abbiamo già visto, può avvenire la perdita di segni inizialmente formati per effetto della combustione dei primi materiali, a favore di altri segni che si determinano in seguito ad esempio alla combustione di altri materiali a cui l'incendio si propaga in fasi successive a quella iniziale. **In sostanza, l'osservazione di un singolo segno lasciato dall'incendio spesso non può, da sola, consentire di determinare la zona d'origine dell'incendio stesso. Al contrario, è la lettura dell'insieme dei segni lasciati dall'incendio che può fornire, se correttamente interpretati, talune precise indicazioni sulla dinamica d'incendio.**



Come riportato nella NFPA 921, la forma del pennacchio dei gas caldi aumenta sopra un elemento che brucia e può essere descritto come un cono, con il vertice rivolto verso il basso, ossia verso la fonte di calore. Quando il “plume” è indisturbato, l'angolo tra i confini del pennacchio e la verticale è di circa 10-15 gradi. Vicino alla fonte calore, i lati divergono per formare un cono che descrive il confine della zona di fiamma.

FIGURE 4.2.1(a) Hourglass pattern.

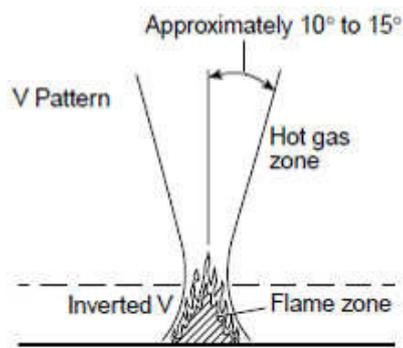


FIGURE 4.2.1(b) Effects of fire base on V width.

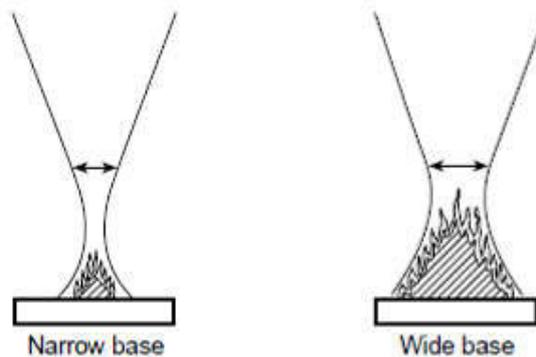




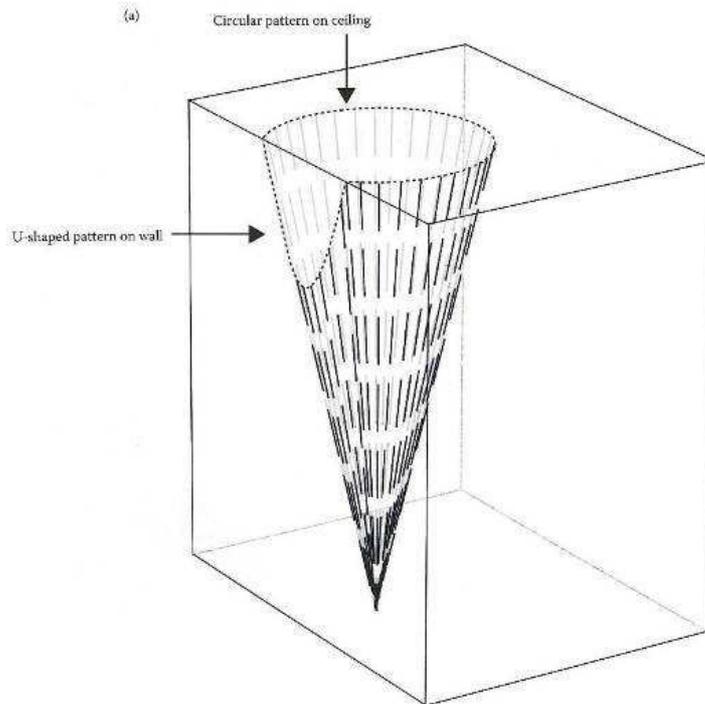
Foto NIA



Foto NIA

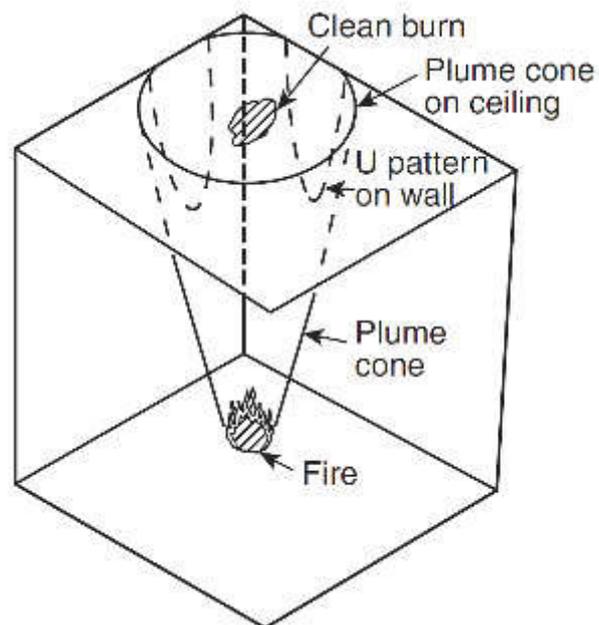
SEGNI AD “U”

Immaginiamo ora un incendio in cui la base del “pennacchio” non è più a contatto o molto vicina alla parete ma spostata più lontano dalla stessa.



L'intersezione del cono dei fumi con la parete, avverrà nella parte superiore della stessa, dove si produrrà un caratteristico segno a forma di U. Sul soffitto, invece, avremo un segno di bruciatura radiale che formerà un cerchio completo, se il "pennacchio" della fiamma non si interseca con la parete.

Se l'incendio, invece, è vicino ad un angolo della stanza, l'intersezione del cono interesserà due pareti, e lascerà su entrambe un segno a U.



L'immagine sotto mostra un segno di bruciatura a forma di U sulla parete di fondo.



La base del “pennacchio” del cono rovesciato, con relativa configurazione a V, era dietro la porta. Il segno ad U è stato prodotto sulla parete lontana rispetto al punto di origine dell’incendio (laddove il pennacchio ha intersecato la parete).

Poiché la produzione di coni rovesciati, colonne e coni segue, come abbiamo visto, una sequenza ben precisa questi segni, di solito, si sovrappongono l'uno all'altro e il primo segno che si viene a creare è spesso oscurato da quello successivo. Il lettore più attento avrà notato che tutti i segni lasciati dal fuoco presentati finora si sono verificati in incendi confinati che non hanno raggiunto il pieno coinvolgimento della stanza. Tali segni sono facilmente riconoscibili, ma le indagini sugli incendi raramente sono così semplici. Uno dei compiti più difficili, con il quale deve spesso misurarsi l'investigatore, è rappresentato dalla “lettura” dei segni che vengono generati dopo che la stanza è rimasta coinvolta completamente dalle fiamme (flashover, ovvero incendio generalizzato).



Foto NIA – Incendio sperimentale presso la fire house di Montelibretti (RM)

INTERPRETAZIONE DEI SEGNI CHE L'INCENDIO LASCIA SUI MATERIALI CARBONIZZAZIONE DEL LEGNO

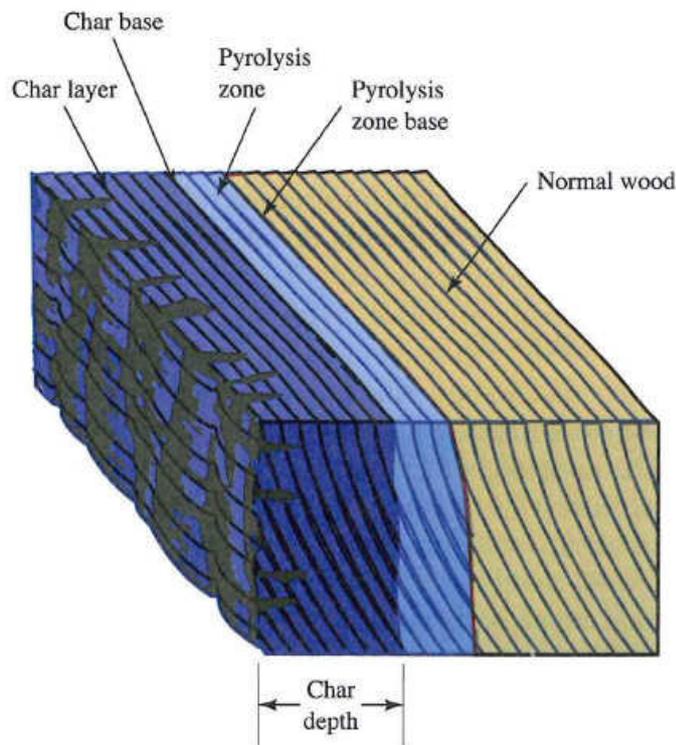
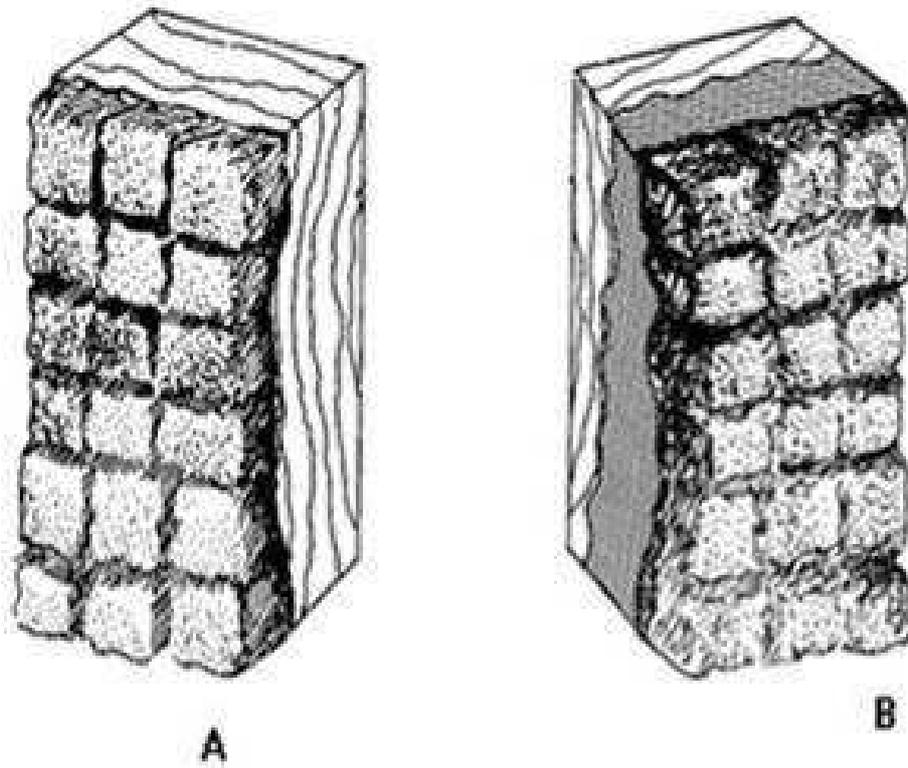


La carbonizzazione del legno è un segno che troviamo spesso in uno scenario d'incendio e l'analisi della sua profondità può fornire informazioni utili.

Bisogna però tener conto del fatto che la velocità della carbonizzazione dipende da numerosi fattori, tra i quali:

- intensità del fuoco e del calore;
- durata dell'esposizione;
- ventilazione;
- tipo di legno;
- orientamento delle fibre;
- contenuto di umidità;
- superficie coinvolta.

Non è possibile stabilire un tempo di esposizione specifico basandosi esclusivamente sulla profondità della carbonizzazione. La stessa però, può fornire alcune indicazioni sulla rapidità o meno dell'incendio, come mostrano le figure che seguono.



Il campione di legno sopra evidenziato con la lettera “A”, indica una combustione rapida, suggerita dalla netta linea di demarcazione tra la parte carbonizzata e la parte non bruciata.

Il campione con la lettera “B”, invece, mostra i segni di una combustione lenta, evidenziata dal passaggio graduale dall’area carbonizzata all’area non bruciata.

SCREPOLATURE A “PELLE DI COCCODRILLO”

Il legno combusto presenta una superficie esterna a pelle di coccodrillo. Quadretti grossi e lucidi, di solito, erano interpretati dagli investigatori come un'indicazione di un incendio veloce e caldissimo che suggeriva la possibile utilizzazione di un liquido accelerante. La NFPA 921 afferma che non vi è alcuna prova scientifica di una tale correlazione e che possiamo osservare questo tipo di screpolature in molti tipi d'incendio.





Foto NIA – Materiali lignei con screpolature tipiche provocate dall'incendio

MATERIALI SINTETICI

Uno dei materiali più diffusi che si trova comunemente in tutti gli edifici, in oggetti e componenti di varia natura è la plastica. Di conseguenza, è di fondamentale importanza per gli investigatori conoscere il comportamento al fuoco dei materiali plastici e, in generale, dei materiali sintetici.

Esistono molti tipi di materiali plastici con caratteristiche chimiche e fisiche differenti. Alcuni come il teflon non sono facilmente combustibili e si manifestano danni per esposizione al calore, soltanto se esposti ad elevate temperature. Altri invece, come la nitrocellulosa, sono facilmente infiammabili. La maggior parte dei materiali plastici comunemente utilizzati ha caratteristiche comprese tra questi due estremi.

È importante ricordare che quasi tutti i materiali plastici sono costituiti da lunghe catene di idrocarburi collegate insieme in vari modi. Pertanto, un apporto termico può essere sufficiente a rompere i legami chimici che tengono insieme le catene. La plastica pirolizza formando composti più semplici e più volatili. Questi prodotti di pirolisi possono essere molto tossici (come nel caso dello stirene), estremamente infiammabili, come nel caso del monossido di carbonio (CO) e radicali CH_2C , o facilmente suscettibili di ulteriore pirolisi.

Quando si considerano le materie plastiche come combustibili è utile classificarle per il loro comportamento al fuoco.

Termoplastici

I materiali termoplastici (ovvero quelli che si ammorbidiscono fino a liquefarsi se esposti al calore per poi indurirsi in un successivo raffreddamento) ad alte temperature iniziano a gocciolare (fondono), come illustrato nella figura seguente. Se le gocce sono in fiamme mentre cadono a livello del pavimento si possono accendere nuove fiamme lungo le superfici imbottite verticali.



Mentre brucia, la tappezzeria sintetica si scioglie. Gocce incendiate accendono sotto il tappeto e la porzione inferiore del rivestimento della faccia verticale.

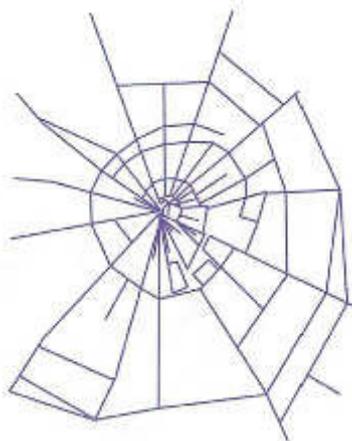
Nel corso degli incendi, i lucernari di plastica, i paralumi e i lampadari possono essere innescati e gocciolare a seguito delle temperature che si raggiungono a soffitto. Poiché questi articoli bruciando fondono e danno luogo a gocciolamenti di materiale infiammato, possono a loro volta produrre isolati punti di origine. Durante l'ispezione post incendio, alcuni investigatori sono fuorviati da questi numerosi focolai separati, sospettando una causa incendiaria.



Foto NIA – Prova di reazione al fuoco al pannello radiante “effetto gocciolamento di materiali termoplastici”.

VETRI

Il vetro, in genere, si comporta come un solido, sebbene abbia una struttura di un liquido sotto-raffreddato. Quando esposto a sollecitazioni di tipo meccanico, il vetro è elastico entro un certo campo di sollecitazioni e può effettivamente deformarsi prima di rompersi. Se un oggetto colpisce una vetrata normale (cioè, con vetro non del tipo rinforzato e non temperato), questa si deforma sino al suo limite elastico, dopo di che si frattura. Questa tipologia di sollecitazione determina due serie di linee di frattura, radiali e concentriche, come mostrato nella figura successiva. I bordi del vetro rotto meccanicamente, quasi sempre recano una serie di curve di frattura concoidali che vengono prodotte dal rilascio di energia dalla sollecitazione interna nella struttura del vetro.



Tipica frattura di un impatto meccanico con formazione di segni radiali e concentrici.

Il vetro può anche rompersi a causa di uno stress prodotto da riscaldamento non uniforme. Le fratture risultanti tendono a formare una curva casuale sul riquadro (a differenza delle fratture causate da una rottura meccanica, che sono quasi sempre rette).

Il vetro si espande quando riscaldato, sia per effetto di un calore convettivo che radiante. La porzione del riquadro dietro al telaio è protetta o ombreggiata a causa della sua scarsa conducibilità termica e mantiene la sua temperatura iniziale senza deformarsi. All'interno della struttura di vetro si generano, pertanto, delle sollecitazioni di trazione sino al superamento del carico di rottura del vetro con conseguente formazione di lesioni, solitamente all'incirca parallele ai bordi del riquadro (vedi figura seguente). Le sollecitazioni di trazione, nascono tra la zona del vetro schermata dal calore radiante e convettivo ovvero prossima ai bordi del riquadro e la zona centrale che si dilata per effetto del calore.

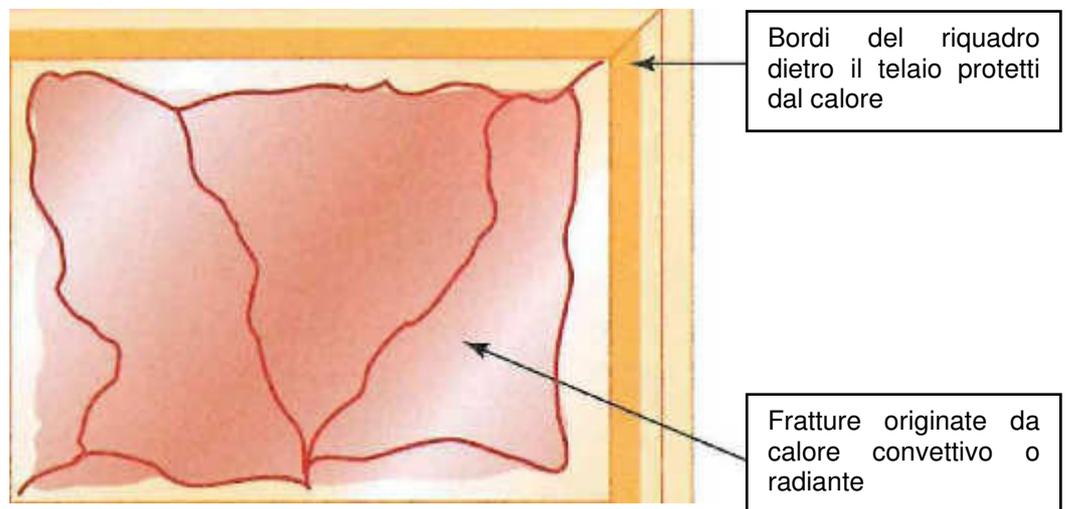


Foto NIA – Vetri di finestre rotti a causa di una sollecitazione termica

Questo fenomeno può essere studiato attraverso una modellazione matematica della struttura di vetro sottoposta alla sollecitazione con gradienti termici. Studi di questo processo hanno dimostrato che la formazione delle lesioni dipende dall'azione sollecitante e dal tipo di vetro; ordinarie rotture del vetro di una finestra si raggiungono, solitamente, in corrispondenza di differenze di temperatura tra parti della struttura dell'ordine di circa 70°C. Un vetro, spesso, può distruggersi a causa di una sufficiente differenza di temperatura tra il lato rivolto verso il fuoco e quello lontano da esso. Finestre con doppi vetri non si rompono in sequenza, il riquadro esposto al fuoco può proteggere l'altro pannello fino a quando non si rompe cadendo e fuoriuscendo dalla cornice. Se il vetro esposto al calore semplicemente presenta crepe senza cadere il pannello esterno può sopravvivere anche alla fase di flashover.

Altre indicazioni possono ricavarsi dalla presenza o assenza di fuliggine o depositi di cenere sui bordi rotti ovvero consentono di desumere se la rottura del vetro è avvenuta prima o dopo l'incendio. Inoltre, di non poca importanza è la posizione dei frammenti di vetro nei residui dell'incendio. Frammenti di vetro, con relativamente poca fuliggine e trovati, per esempio, sul tappeto di una stanza con tutti i detriti dell'incendio posati su di essi, fornirebbero una forte indicazione che la finestra era stata rotta prima dell'incendio. Al contrario, frammenti di vetro posti sulla sommità di detriti dell'incendio indicano, più probabilmente, il risultato di rotture avvenute durante la sovra-pressione causata dall'incendio. Prove di laboratorio hanno dimostrato che una screpolatura, come una craterizzazione (*pitting* della superficie in piccoli difetti circolari), è causata da un getto di acqua che colpisce una finestra già riscaldata dall'esposizione al fuoco.

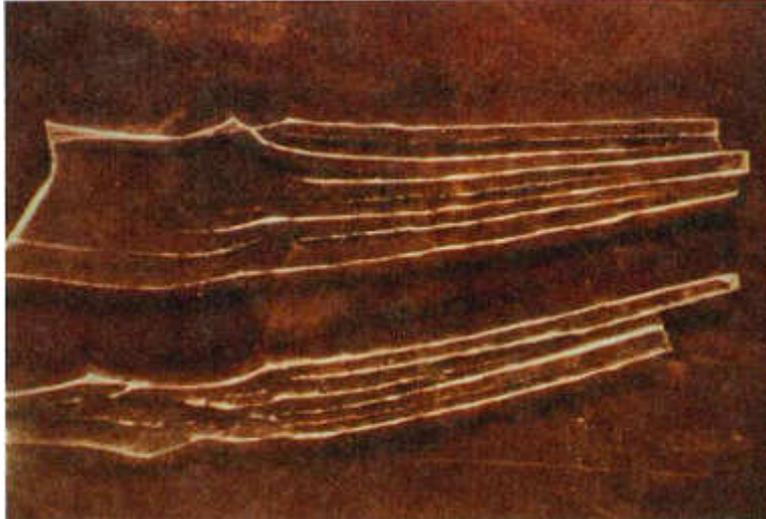
Scaglie o lunghe schegge di vetro hanno origine in genere da un evento di tipo esplosione. La presenza di fuliggine su questo tipo di schegge di vetro indica che l'esplosione è avvenuta in ritardo rispetto all'incendio, molto probabilmente a causa di un fumo.



Una finestra di vetro fratturato dall'esposizione al calore durante un normale incendio (post-flashover).



Cavillature causate da un getto d'acqua che colpisce un vetro già esposto al calore.



Frammenti di vetro causati da una deflagrazione di vapori di liquidi infiammabili.

Al contrario, l'assenza di fuliggine sui frammenti di vetro indica un'esplosione avvenuta prima dell'incendio.

Così, l'aspetto del vetro può dire molto ad un attento investigatore rispetto, ad esempio, alla sequenza incendio/esplosione. Molti dati utili in un'investigazione possono essere desunti anche dalla posizione dei detriti di vetro se attentamente osservati e fotografati prima dell'esecuzione di attività che ne comportano lo spostamento. Vetri rotti, diffusi da un'esplosione, devono essere tracciati (in termini di dimensioni e distanze di proiezione dei frammenti) e fotografati durante l'esame della scena esterna. Questa documentazione può essere completata con osservazioni sui frammenti di vetro.



Foto NIA – frammenti di vetro rinvenuti a distanza dal luogo dell'incendio e privi del deposito di fuliggine

Il vetro temprato, presente nei veicoli e in molte porte, è realizzato trattando il vetro con prodotti chimici e con calore durante la fabbricazione ottenendo una lastra di vetro molto più resistente alla rottura meccanica. Quando si rompe, si frantuma in migliaia di piccoli blocchi cubici. In generale, per questa tipologia di vetro non è possibile comprendere se la sua rottura è stata originata da urti meccanici o da sollecitazioni termiche.

LIQUIDI INFIAMMABILI

Come abbiamo già visto, nel caso di incendi provocati da liquidi infiammabili possiamo imbatterci in segni a cono rovesciato, lasciati su muri od oggetti, e in segni a clessidra, prodotti sulle pareti. Ci sono però altri segni tipici che si possono riscontrare, in particolare su pavimenti in parquet o linoleum, senza dimenticare però che segni simili possono essere il risultato di un “*floor jet*”, nel caso di un incendio a ventilazione controllata o possono essere provocati dal gocciolamento di materiale fuso o dalla caduta di detriti infiammati o carbonizzati. Nel caso in cui ci si imbatte in segni che fanno supporre un incendio di natura dolosa, vale quanto già accennato



all'inizio, ossia è importante osservare se vi è stata un'elevata velocità di propagazione dell'incendio, se ci sono segni riconducibili a focolai numerosi e diffusi, se la presenza delle tracce di combustione è più marcata ai livelli più bassi degli ambienti interessati, se vi è presenza di contenitori “sospetti” (tanche, bottiglie, ecc.) e di segni di effrazione su porte e finestre.

Nell'immagine sopra vediamo un segno a clessidra (hourglass pattern), prodotto in un incendio di prova. Nella fattispecie si sono osservati i seguenti segni:

- 1 – linea di demarcazione; 2 – calcinazione; 3 – perdita di materiale; 4 – rottura del vetro;
- 5 – segno prodotto sul tappeto dalla bomba incendiaria contenente il liquido infiammabile;
- 6 – segno di penetrazione sul soffitto; 7 – area di combustione pulita (clean burn).

La bomba incendiaria, costituita da un contenitore di plastica riempito di benzina, era stata posizionata nel punto 5 e innescata con un accendino elettrico. L'incendio che ne è scaturito è stato spento dopo 300 secondi.

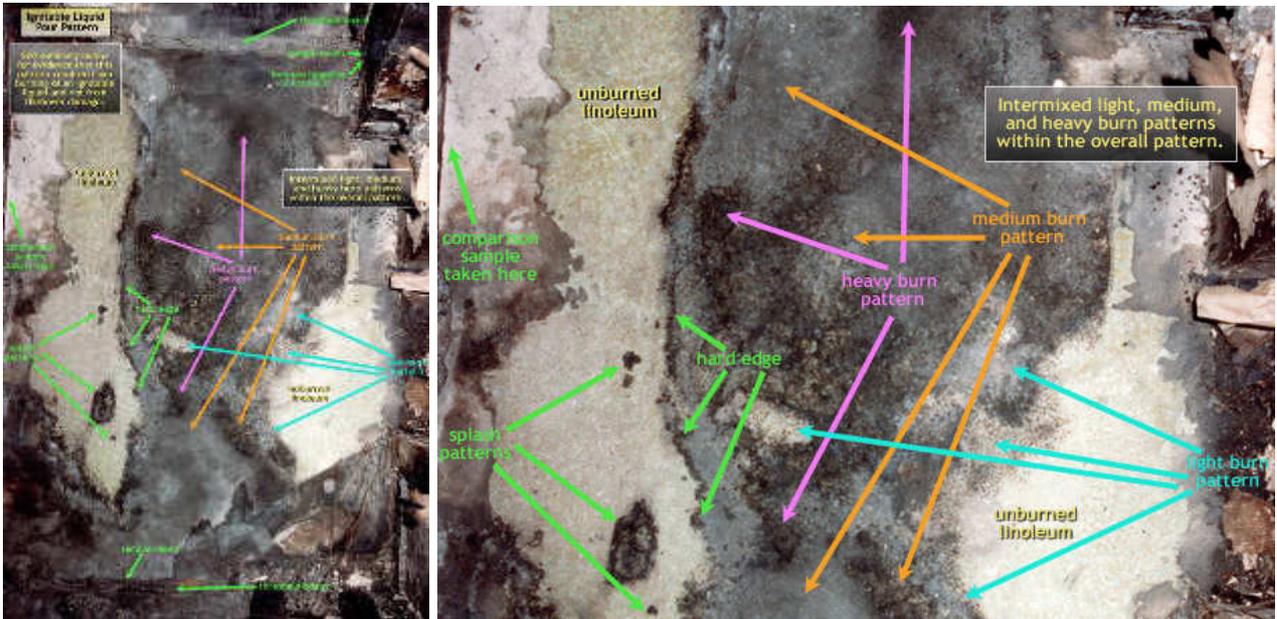
Sotto vediamo invece un grande segno circolare sul pavimento, solitamente riconducibile ad un incendio causato dal versamento di liquidi infiammabili, ma che può essere provocato anche dalla caduta di detriti bruciati o dal "gocciolamento" di materiale combustibile che brucia, come ad esempio plafoniere in plastica.



Foto NIA – Segni lasciati a pavimento da liquidi infiammabili

PAVIMENTO IN LINOLEUM

Di seguito vediamo invece i segni prodotti da un incendio di liquidi infiammabili su un pavimento in linoleum.



PAVIMENTO IN CEMENTO

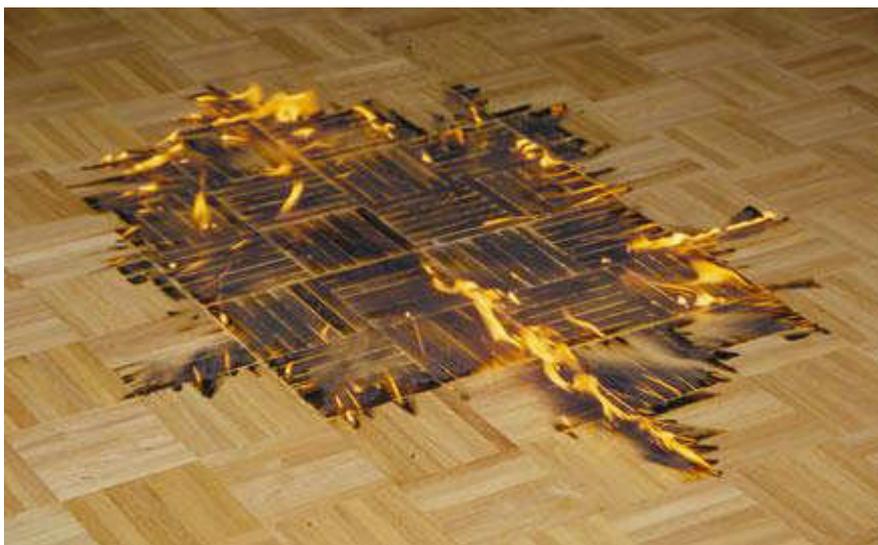
La figura che segue mostra invece i segni prodotti da un incendio di liquidi infiammabili su un pavimento di cemento.



PAVIMENTO IN PARQUET

Continuiamo ancora con una sequenza di immagini che mostrano i segni prodotti dall'accensione di 1 litro di benzina versata su un pavimento in parquet.

Le immagini seguenti sono state tratte dal NIJ "National Institute of Justice" of U.S. Department of Justice - Report 604-00: Flammable and Combustible liquid Spill/Burn Patterns (March 2001).





L'immagine che segue mostra invece i segni prodotti dall'accensione di 1 litro di cherosene versato sempre su un pavimento in parquet.



PIASTRELLE IN VINILE

Segni prodotti dall'accensione di 1 litro di benzina versata su un pavimento di piastrelle in vinile.





Nelle immagini che seguono vediamo i segni (evidenziati con un pennarello) prodotti sul pavimento da un incendio provocato da un liquido infiammabile, versato dall'esterno di un appartamento, attraverso la porta.

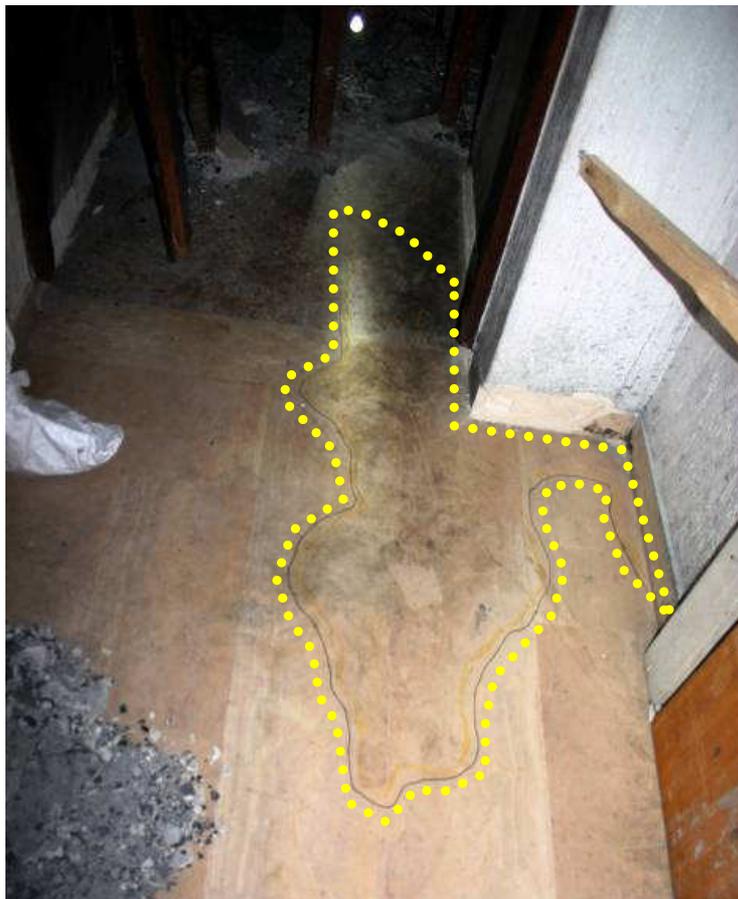
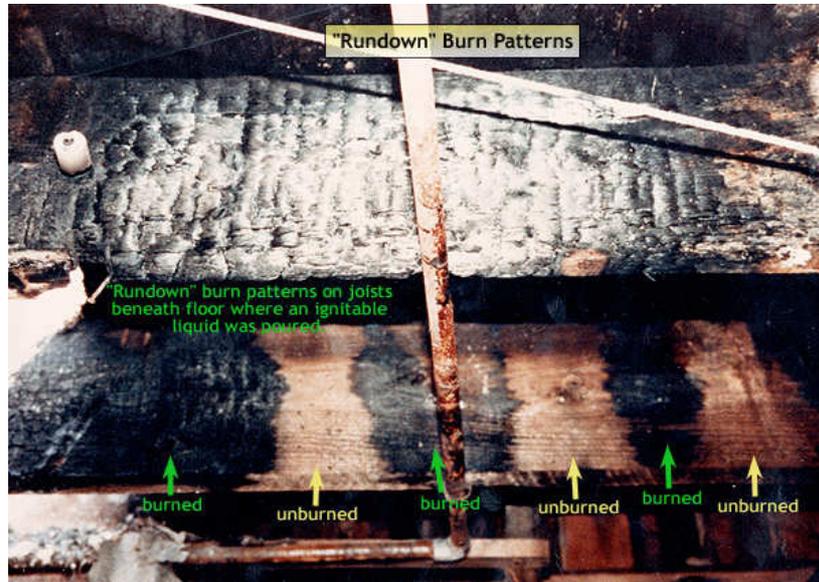


Foto NIA

MACCHIE DI SCORRIMENTO (RUNDOWN BURN PATTERNS)

Sono le macchie bruciate provocate da un liquido infiammabile che è stato cosparso e che poi scorre su una superficie verticale. Nell'immagine si vedono i segni prodotti su alcuni travetti sotto un pavimento dove è stato versato liquido infiammabile.



LINEE DI DEMARCAZIONE

Si tratta di segni o meglio di linee più o meno nette che “staccano” la porzione bruciata dalle aree non bruciate di una parete. In genere si formano a causa del calore o per la deposizione di fuliggine e altri residui della combustione.

La foto sotto mostra un'evidente linea di demarcazione, provocata dal fumo.



Foto NIA

Anche gli “orizzonti di fumo” o gli “orizzonti di calore” sono delle linee di demarcazione.

ORIZZONTI DI FUMO

Questi segni, noti come “orizzonti di fumo”, appaiono come segni di fumo orizzontale (paralleli al soffitto e al pavimento) prodotti sulle pareti dallo strato di fumi caldi.



Sono segni che spesso non sopravvivono al flashover, perché in questo caso lo strato di gas caldo scende al livello del pavimento. Trovare un orizzonte di fumo o di calore in una stanza di solito è un motivo sufficiente per concludere che il flashover non ha avuto luogo in quel comparto.



Foto NIA



Foto NIA – Orizzonti di fumo

ORIZZONTI DI CALORE

La foto sotto mostra la linea di demarcazione nota come “orizzonte di calore”, prodotta dallo strato di fumi caldi quando ancora l’incendio era confinato. Il segno sulle pareti si è prodotto, quindi, prima che il tetto bruciasse.



COMBUSTIONE PULITA (CLEAN BURN)

La “combustione pulita” (clean burn) viene descritta come un fenomeno che appare sulle superfici non combustibili (di solito pareti, o superfici metalliche) quando i prodotti della combustione (vapore acqueo, fuliggine e prodotti di pirolisi) che normalmente si sarebbero trovati aderenti alla superficie, vengono bruciati. L'investigatore osserverà, pertanto, una superficie pulita adiacente alle zone annerite dai prodotti della combustione, prodotta dal contatto diretto della fiamma o dall'intenso calore irradiato ($>500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Questo segno può essere utilizzato per identificare le aree di contatto diretto tra una superficie e la porzione ardente del pennacchio. Superfici non a contatto con la fiamma raramente raggiungono temperature sufficientemente elevate da consentire la combustione completa della fuliggine e degli altri prodotti della combustione. Uno studio inedito di Kotthoff indica che, per consentire il verificarsi una combustione pulita, il materiale deve raggiungere circa $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una ricerca condotta negli USA nel 2008 indica che la “combustione pulita” può verificarsi anche quando una nube di fumo di uno strato di gas caldi, ricca di particelle combustibili, incontra una zona ad alta concentrazione di ossigeno. Le pareti esposte alle alte temperature che si sviluppano in questi casi risulteranno talmente calde da impedire ogni successiva deposizione di particelle di fuliggine. La definizione “classica” di combustione pulita, che implica una sequenza di deposizione e rimozione della fuliggine per il contatto della fiamma, va quindi aggiornata e ulteriori studi e approfondimenti potranno consentire di utilizzarla per dedurre la direzione di progressione del fuoco, la durata di esposizione al fuoco e forse anche la posizione del combustibile che brucia.



Foto NIA



Foto NIA

SEGNI DI PROTEZIONE

Poco prima del flashover, l'irraggiamento diventa il meccanismo predominante di trasmissione del calore e i segni sono prodotti quando le superfici sono riscaldate o accese dalla radiazione termica. I bordi di tali segni sono spesso coincidenti con i bordi degli oggetti che proiettano un'ombra o che giacevano direttamente su una superficie, impedendo alla radiazione termica di raggiungerla. Quando l'oggetto che blocca la radiazione è di forma regolare, il segno sarà regolare. Quando invece l'oggetto è di forma irregolare, come un pezzo di cartongesso caduto, il segno assumerà una forma irregolare. Tali segni sono noti come "segni di protezione". Un altro tipo di segno di protezione è quello provocato dagli oggetti che, nel corso di un incendio, bloccano la deposizione di fumo sulle superfici (di solito pareti).



Foto NIA

Nella foto sopra vediamo un tipico segno di protezione lasciato sul pavimento da un tavolo da giardino di plastica, fusosi durante l'incendio.

Sotto vediamo invece un segno di protezione originatosi per la presenza di un mobiletto accostato alla parete e poi rimosso, accanto al quale è anche presente un segno a V di combustione pulita.



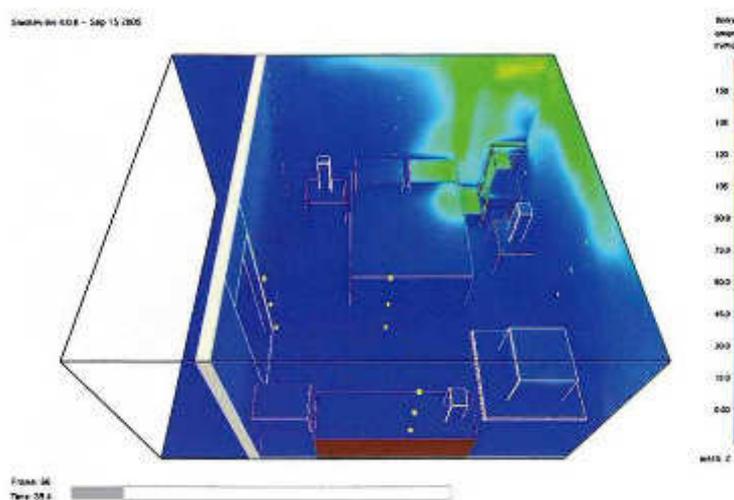
Foto NIA

INCENDI CONTROLLATI DALLA VENTILAZIONE

Un incendio si dice controllato dalla ventilazione quando durante la fase di sviluppo dell'incendio, la quantità d'aria e dunque di ossigeno che affluisce nel locale è limitata rispetto alla superficie del combustibile presente. In queste condizioni, il progredire della combustione è controllato dal valore della superficie di ventilazione. Normalmente queste circostanze si verificano per incendi nella fase di pieno sviluppo all'interno di ambienti al chiuso.

Negli incendi controllati dalla ventilazione, troveremo dei segni generati intorno a porte e finestre, nonché nei siti dove i trafiletti d'aria erano esistenti prima dell'incendio, o successivamente, se la ventilazione/tiraggio si è venuta a creare come conseguenza stessa del fuoco (ad esempio per il crollo di parti di pareti o soffitti).

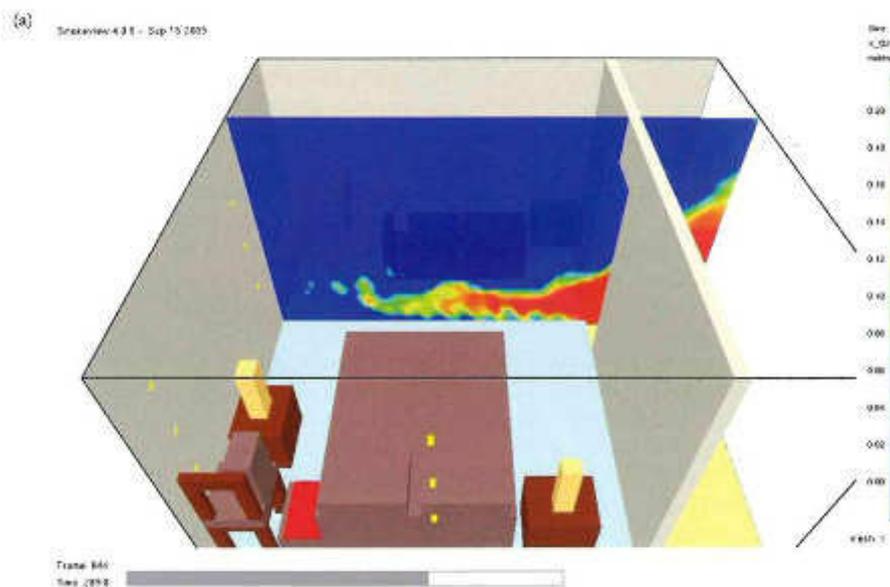
Consideriamo, ad esempio, l'incendio sperimentale mostrato nella seguente modellazione numerica, scaturito in un punto della camera posto a destra del letto, come visualizzato nell'immagine di seguito riportata, che mostra il flusso di calore a 60 secondi dall'inizio dell'incendio.



Quello che succede alla concentrazione di ossigeno è molto istruttivo. Questa immagine mostra la concentrazione di ossigeno, al centro della porta di ingresso, 60 secondi dopo l'accensione dell'incendio. Notiamo come questa concentrazione inizia a diminuire dall'alto, mentre resta ancora elevata al livello del pavimento.



La stessa concentrazione dell'ossigeno a 290 secondi dopo l'accensione, appena dopo che è avvenuto il flashover, è notevolmente variata; si rileva una concentrazione notevole solo nelle immediate vicinanze della porta.



Nell'immagine seguente, è illustrata la concentrazione dell'ossigeno, a 20 centimetri sopra il livello del pavimento, a 290 secondi dopo l'accensione dell'incendio. La freccia indica il percorso del "floor jet", ossia l'ossigeno che affluisce dalla porta e che entra in collisione con la parete opposta.

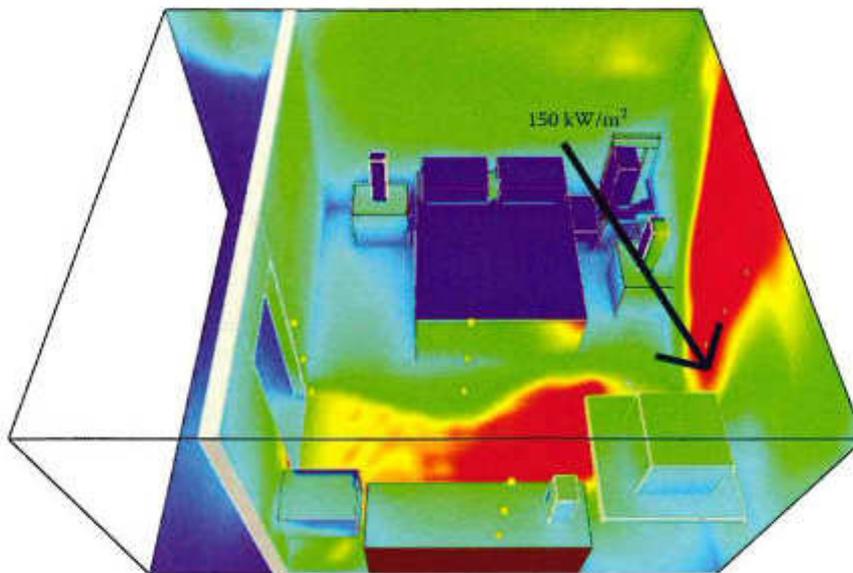
(b) Smokeview 4.0.6 - Sep 15, 2005



Frame 544
Time: 2336

L'ossigeno che affluisce ed impatta con la parete, spostandosi verso l'alto, si va a miscelare con le particelle di combustibile non ancora bruciate e sviluppa un flusso di calore superiore a 150 kW/m^2 . L'impatto totale di energia (flusso di calore moltiplicato per il tempo di esposizione, espresso in kJ/m^2) su questa superficie ha superato l'impatto totale di energia che era sulla parete accanto al punto di origine dell'incendio.

Smokeview 4.0.6 - Sep 15, 2005



Frame 322
Time: 2096

L'immagine successiva mostra degli evidenti segni a "V", interamente dovuti alla "ventilazione" post-flashover, prodotti nel corso di un incendio sperimentale (l'apertura dalla quale è entrato il "floor jet" è alle spalle di colui che ha scattato la foto).



Non sempre si può prevedere la forma dei segni prodotti dagli incendi controllati dalla ventilazione ma, come abbiamo visto nella foto precedente, può capitare di trovarne a forma di V. Questi sono i casi in cui l'investigatore può essere tratto in inganno in quanto può essere portato ad interpretare tali segni a V come provocati sulla parete dal pennacchio di una fiamma che ha bruciato del materiale combustibile nel punto di origine dell'incendio. **Proprio per evitare d'incorrere in questo errore è bene verificare, sempre, in una stanza interessata da un incendio generalizzato che non vi sia, in direzione del segno a V rinvenuto su una parete, una porta sul lato opposto dalla quale potrebbe essersi verificato un "floor jet" (l'insufflazione di aria).**

L'immagine seguente, mostra un segno a forma di V causato dal "floor jet" in un incendio reale.



Sotto vediamo invece il parquet danneggiato dallo stesso “floor jet” che ha causato il segno a V nella foto precedente. La combustione a livello del pavimento è stata interpretata erroneamente come prova di un versamento di liquido infiammabile.



INDIVIDUAZIONE DEL PUNTO D'ORIGINE DELL'INCENDIO E DIREZIONE DI PROPAGAZIONE DEL FUOCO

L'individuazione della zona d'origine dell'incendio, alla luce di quanto già emerso nei paragrafi precedenti, è un'operazione estremamente complessa che dipende fortemente dall'interazione tra l'incendio e la struttura nel quale il fenomeno si registra, oltre che ovviamente dalla conoscenza delle proprietà fisiche dei materiali coinvolti e dal loro comportamento al fuoco.

A questo punto, strumento fondamentale all'individuazione della zona (o delle zone) d'origine dell'incendio, diventa la lettura dei segni che l'evento stesso lascia sulle strutture e sui materiali che incontra nel suo percorso. La successiva interpretazione di tali segni potrà essere svolta attraverso un procedimento logico volto a rapportare le conoscenze sul fenomeno incendio a quelle che riguardano invece le proprietà dei materiali combustibili rinvenuti negli ambienti e il loro comportamento al fuoco. A tal fine, anche rispetto a quanto già detto nei paragrafi precedenti, nell'ambito di un'indagine sulle cause e sulla dinamica di un incendio è di fondamentale importanza poter ricostruire per quanto possibile (attesa la natura distruttiva dell'evento) la configurazione iniziale dello stato dei luoghi, in termini di geometria dei locali, ventilazione degli stessi, tipologia, quantità e natura dei materiali combustibili presenti.



Ricostruzione di uno scenario d'incendio presso il laboratorio NIA delle SFO



Ricostruzione di uno scenario d'incendio (camera d'albergo) presso il laboratorio NIA

DIREZIONE DI PROPAGAZIONE DEL CALORE

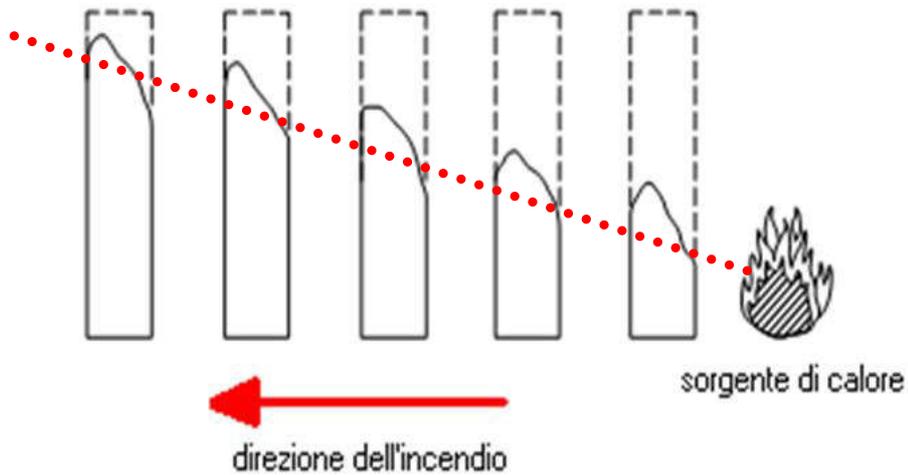
Segni (linee di demarcazione) come quelli delle foto di seguito riportate indicano la provenienza del calore da destra (dall'alto a sinistra verso il basso a destra).



Nelle foto seguenti, invece, vediamo che il calore proveniva da sinistra (segni dall'alto a destra verso il basso a sinistra).



La figura sotto riportata evidenzia i danni prodotti da un incendio su di una staccionata di legno. Questi decrescono all'aumentare della distanza dalla sorgente di calore.



PENETRAZIONI ATTRAVERSO IL PAVIMENTO

Nel caso di pavimenti e solai in legno può capitare che un incendio si propaghi attraverso un foro nel pavimento da un piano superiore a quello inferiore, o viceversa. Molto si è dibattuto ed è stato scritto, nella letteratura americana di settore, circa l'origine di un incendio di questo tipo, ossia se la propagazione è avvenuta dall'alto o dal basso. Nella maggior parte dei casi, la lettura dei segni mostra che la direzione del fuoco è evidente.

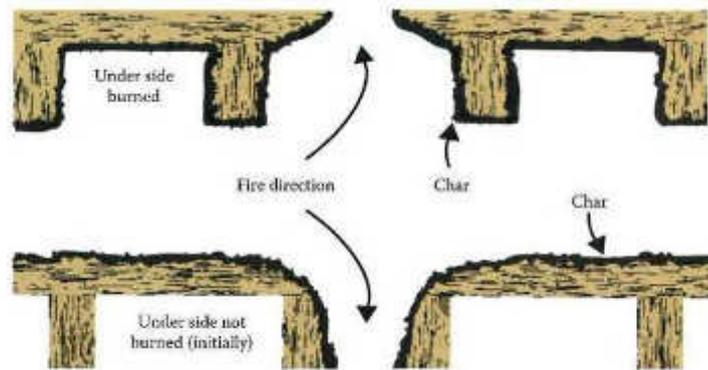


Figure 3.26 Fire patterns resulting from burning from above and below.

La figura sopra mostra i classici mezzi per determinare la direzione del fuoco, cioè l'esame della direzione di smussatura, utile per comprendere se la combustione è partita dall'alto o dal basso, ossia dal piano superiore o da quello inferiore.

L'investigatore deve comunque tenere in considerazione il fatto che i bordi del foro registrano solo la direzione ultima del movimento del fuoco attraverso il foro stesso. Un fuoco può propagarsi al piano inferiore attraverso il foro per poi incendiare materiali combustibili sotto il pavimento. Un fattore che è molto improbabile che possa provocare la propagazione dell'incendio attraverso un pavimento è la presenza di un liquido infiammabile che brucia. Tale combustione verso il basso può verificarsi in presenza di una moquette, in cui le fibre del tappeto fuso permettono al fuoco di bruciare per un periodo di tempo prolungato. La maggior parte dei liquidi volatili, tuttavia, brucia molto rapidamente e non hanno il tempo di causare la penetrazione nel pavimento. Un recente lavoro di *Mealy* mostra che i sversamenti di determinati quantitativi di benzina tendono a bruciare in 60 secondi su superfici lisce, ma su superfici coperte da moquette tendono a rimanere accese per un massimo di 8 minuti. I polimeri fusi e i detriti incendiati, che bruciano molto più a lungo, hanno di gran lunga maggiori probabilità di causare penetrazioni.

SERRAMENTI E DISPOSITIVI DI CHIUSURA

Anche l'analisi dei segni lasciati dall'incendio su serramenti quali porte, finestre e porte finestre, può fornire preziose informazioni nell'ambito di un'indagine ad esempio rispetto a quale poteva essere la configurazione dell'infisso al momento dell'evento (aperto o chiuso). Questi ultimi sono particolari di non poca importanza rispetto alla comprensione della dinamica dell'incendio. Inoltre, in eventi di natura dolosa diventano assolutamente di rilievo verifiche tese ad accertare la presenza sugli infissi di possibili segni d'effrazione.

Se gli elementi mobili dei congegni di chiusura presentano tracce di fumo o di combustione su tutta la loro superficie, ciò può indicare che al momento del sinistro l'infisso era chiuso.



Foto NIA – Finestra con segni del deposito di fuliggine su tutta la superficie

Nella foto seguente, la presenza del deposito di fuliggine sulla parete immediatamente al di sopra di una porta testimonia la presenza di un incendio nell'ambiente a tergo della porta stessa. La fuoriuscita di fumo attraverso l'infisso, chiuso al momento dell'evento, è avvenuta per effetto della sovrappressione interna al locale interessato dall'incendio.



Foto NIA – Segni di nero fumo sulla parete al di sopra di una porta

Risultavano presenti segni di sbuffature di fumo anche lungo la parete a destra della porta, ad ulteriore conferma del fatto che la stessa risultava chiusa al momento dell'evento.

Se le tracce di fumo o di combustione interessano soltanto parte dei predetti elementi mobili, ciò può indicare che al momento del sinistro l'infisso era aperto.



CONCLUSIONI

Gli argomenti trattati nei paragrafi precedenti, forniscono degli strumenti utili agli investigatori per l'interpretazione dei segni dell'incendio, strumenti assolutamente indispensabili per una corretta analisi del fenomeno. Tuttavia, si è avuto anche modo di rappresentare la complessità della ricostruzione di un incendio, attraverso l'interpretazione dei segni di danno termico da esso lasciati, poiché l'evento oggetto di studio è dinamico e la sua evoluzione spazio-temporale è influenzata da innumerevoli fattori. Molti di tali fattori, quali a titolo di esempio: l'esatta distribuzione, quantità e tipologia dei materiali combustibili presenti in un ambiente, le superfici iniziali di ventilazione di un locale e loro eventuale variazione nel corso del tempo, il grado di partecipazione al fuoco dei materiali combustibili interessati dall'incendio, etc., non sono a posteriori neanche facilmente individuabili. In ragione della natura distruttiva dell'evento, la causa non è sempre di possibile determinazione, soprattutto nel caso di incendi che raggiungono una fase di flashover. Abbiamo visto, come alcuni segni tipici che l'incendio rilascia, soprattutto nella fase iniziale di ignizione di un materiale combustibile, tendono poi ad essere cancellati nel corso delle fasi successive. Si è anche visto come alcuni segni tipici lasciati dall'incendio possono trarre in inganno un investigatore se non rapportati alla conoscenza della dinamica del fenomeno.

Ciò che vediamo dopo un incendio è quindi la registrazione totale di quello che è avvenuto; di solito, però, non si è in grado di vedere l'ordine sequenziale della creazione di

ogni segno. Malgrado le ricerche e gli strumenti sempre più sofisticati che si hanno a disposizione, bisogna accettare il fatto che può capitare di osservare segni lasciati dal fuoco per i quali nessuna spiegazione è disponibile.

I potenziali errori che un investigatore può compiere, sono essenzialmente mitigabili attraverso una approfondita conoscenza del fenomeno e un approccio metodico all'investigazione secondo il metodo scientifico di cui all'NFPA 921 "Guide for Fire and Explosion Investigations".

BIBLIOGRAFIA

J. Lentini, *Scientific Protocols for Fire Investigation*, 2008.

NFPA 921. *Guide for Fire and Explosion Investigation*, 2004.

John D. DeHaan, David J. Icove, *Kirk's Fire Investigation*, 2007.

Louis N. Eliopoulos, *Squadra omicidi. Indagini scientifiche sulla scena del crimine*, 2008.

Gregg A. Hine, *Fire scene investigation: an introduction for chemists*, in *Analysis and interpretation of fire scene evidence*, 2004.

David J. Icove, John D. DeHaan, "*Hourglass*" burn patterns: a scientific explanation for their formation, 2006.

Fire Investigation – Edited by Niamh Nic Daéid, 2004

Giuseppe Peluso, *Incendi e repertamento* (ISA, Corso di "Procedure e Tecniche di Investigazione Antincendi", Roma 31 marzo 2009).

Maurizio D'Addato, *Investigazione sulle cause d'incendio*, 1994.

E. Salzano, F.S. Marra, G. Russo, *La propagazione di fiamma attraverso miscele stratificate di metano in aria*, CNR-IRC e Dipartimento Ingegneria Chimica Federico II.

<http://www.dietzerosario.com> [16.12.2014]

<http://fire.nist.gov> [28.12.2014]

<http://www.fireinvestigationsuk.com/> [30.12.2014]

<http://www.interfire.org/> [31.12.2014]

<http://www.instantcheckmate.com/> [31.01.2015]

<http://www.csitechblog.com/arson-investigation/> [31.01.2015]

<http://metroforensics.blogspot.it/> [31.01.2015]

Molte immagini inserite in questo testo provengono dall'archivio fotografico del Nucleo Investigativo Antincendi.

La presente pubblicazione, redatta dal personale del Nucleo Investigativo Antincendi di seguito elencato:

- *D.V.D. Ing. Armando De Rosa*
- *I.A.E. Luciano Bottà*
- *V.C. Alessandro Fiorillo*

è stata realizzata con l'auspicio che possa costituire un utile riferimento, nell'ambito dell'investigazione sulle cause d'incendio ed esplosione, per il personale operativo dei vigili del fuoco ed in particolare, per i componenti dei costituendi Nuclei Investigativi Antincendi Territoriali.

Un particolare ringraziamento è rivolto al V.C. Alessandro Fiorillo per il prezioso e meticoloso lavoro di ricerca e traduzione di testi della letteratura scientifica internazionale.

Ing. Michele Mazzaro
Dirigente del Nucleo Investigativo Antincendi